

Klasyczne piorunochrony Franklina i piorunochrony pseudoaktywne



wstępne schodkowe, gdyż rozwija się w sposób nieciągły, skokowo, a każdy następny skok (schodek) ma zazwyczaj inny kierunek. To odgórne wyładowanie jest typu liderowego, ponieważ jego kanał jest gorący (temperatura rzędu 5000 K), a płynący prąd wynosi około 5-100 A.

Uziemiony metalowy pręt pionowy zwany jest piorunochronem (zwozem) Franklina – od nazwiska odkrywcy Benjamina Franklina. Gdy wyładowanie odgórne zbliży się na odległość rzędu 100 m od zwodu Franklina, wówczas pole elektryczne w pobliżu jego zakończenia osiąga tak dużą wartość, że powoduje rozwój wyładowania oddolnego kierującego się w stronę zbliżającego się wyładowania odgórnego. Wyładowanie oddolne jest również typu liderowego i może osiągnąć długość 15-50 metrów, zanim

Rozwój techniki dostarcza ludziom coraz lepszych, ciągle udoskonalanych produktów oraz nowych generacji sprzętu, otwierających nieznane do tej pory możliwości. Temu pozytywnemu procesowi towarzyszy niestety również proces negatywny, żerujący na ludzkiej łatwowierności i braku rzetelnej informacji. Przykładów wykorzystywania i oszukiwania ludzi jest wiele – już w średniowieczu handlowano podrabianymi relikwiami, oferowano cudowne farmaceutyki, wrócono świetlaną przyszłość. W nowszych czasach wyprodukowano, na przykład, bardzo dużo „rewelacyjnych” środków na porost włosów i na odchudzanie.

Rewelacyjne piorunochrony są dla producentów znacznie bezpieczniejszym wyrobem niż rewelacyjne szampony i takowe diety. Skuteczność tych ostatnich można szybko zweryfikować. Niestety – lub

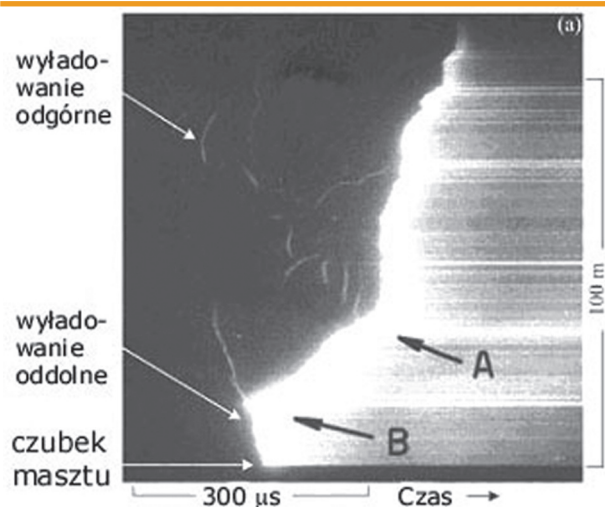


Typowe wyładowanie piorunowe chmura-ziemia

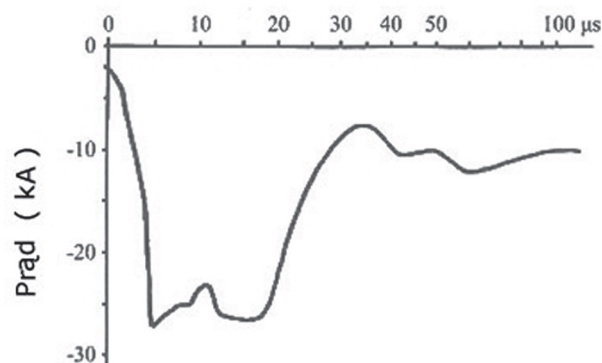
na szczęście (zależnie od punktu widzenia) – skuteczność piorunochronów można zweryfikować najczęściej dopiero po latach, gdyż uderzenie pioruna w obiekt niski zdarza się bardzo rzadko. Dlatego już w XIX stuleciu oferowano cudowne piorunochrony. Świadczy o tym opis sprzedawcy i stosowanych przez niego technik psychologicznych przedstawiony przez słynnego amerykańskiego pisarza Hermana Melville'a w jego opowiadaniu *The Lightning-Rod man* [1].

Wyładowanie piorunowe chmura-ziemia

Piorun liniowy rozpoczyna swój rozwój w chmurze burzowej na wysokości kilku kilometrów nad powierzchnią ziemi. Na początku swojej drogi porusza się po nieprzewidywalnej, zygzakowatej trajektorii, wykazującej liczne odchylenia od kierunku zewnętrznego pola elektrycznego pomiędzy powierzchnią ziemi a podstawą chmury. Jest to tzw. wyładowanie



Zdjęcie lidera oddolnego, lidera odgórnego i wyładowania głównego wykonanego za pomocą szybkiej kamery (streak camera) przez prof. Bergera w latach 60. na maszcie radiostacji w Lugano. Odległość decyzji (strike distance) z punktu A do czubka wieży – 37 m. Punkt B – połączenie lidera odgórnego z liderem oddolnym. Długość lidera oddolnego ok. 30 m [3]



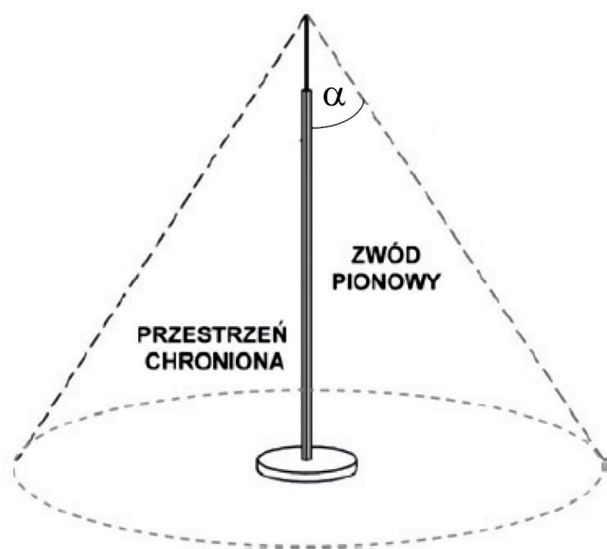
Rejestracja prądu wyładowania głównego przedstawionego powyżej [3]

połączy się z wyładowaniem odgórnym. Dostępnych zdjęć naturalnych wyładowań oddolnych rozwijających się z tzw. obiektów niskich jest bardzo mało, ze względu na niemożność przewidzenia, gdzie uderzy piorun podczas zbliżającej się burzy. Wykaz kilku fotografii wyładowań oddolnych z obiektów niskich zestawili Martin Uman [2]. Gdy lider oddolny połączy się z liderem schodkowym odgórnym, następuje wówczas rozwój wyładowania głównego. Wyładowanie to rozwija się z dołu w kierunku chmury z szybkością ok. 0,1-0,5 prędkości światła, a jego impulsowy prąd może osiągnąć wartość większą od 100 kA. Zjawisku temu towarzyszy głośna detonacja – grzmot i „prawie oślepiający” błysk – błyskawica.

Kilka tego typu fotografii, wykonanych jednak na obiekcie wysokim, ale za to z rejestracją prądu wykonał prof. Berger [3].

Możliwości zwiększenia skuteczności zwodu Franklina

Zwód Franklina ma ograniczoną strefę ochrony, tj. obszar, gdzie prawdopodobieństwo bezpośredniego trafie-



Strefa ochronna zwodu Franklina

nia przez piorun jest znikomo małe. Najbardziej popularnym kształtem strefy ochronnej kilkumetrowego zwodu Franklina jest stożek o wysokości zwodu i kącie ochrony $\alpha = 45^\circ$. Obecnie obowiązująca teoria mówi, że strefa ochrony ma bardziej skomplikowany kształt i zależy od wysokości zwodu oraz od wartości prądu wyładowania głównego. O tym, że strefa ochronna zwodu Franklina ma ograniczone rozmiary, przekonano się już w XVIII w., gdy zauważono, że piorun nie trafił w zwód Franklina na dachu magazynu prochu w Purfleet pod Londynem, tylko w narożnik oddalony od niego o kilkanaście metrów.

Istnieje kilka możliwości zwiększenia skuteczności zwodu Frankli-



Stacja biogazu w Malsicach w Czechach. Miejsce uderzenia pioruna zaznaczono czerwoną błyskawicą, napis ESE wskazuje położenie maszty z głowicą aktywną. Zaadaptowane ze strony <http://www.envitec-biogas.cz/reference.html>

na (zwiększenia jego strefy ochronnej). Najprostszym, wręcz trywialnym sposobem jest zwiększenie jego wysokości. Sposób ten można stosować do ochrony obiektów niskich. Jednak w przypadku obiektów wysokich może zawieść, gdyż piorun może uderzyć w taki obiekt z boku, poniżej jego wierzchołka. Wydłużanie zwodu Franklina umieszczonego na dachu wysokiego obiektu nie ma większego sensu. Wiedział o tym Johann Ephraim Scheibel, odnotowując w roku 1790 uderzenie pioruna w galerię wieży kościoła św. Elżbiety we Wrocławiu, kilkanaście metrów poniżej jej wierzchołka wznoszącego się wówczas na wysokość 90 m [4].

Szilárd, współpracownik Marii Skłodowskiej-Curie, zaproponował sposób na zwiększenie skuteczności zwodu Franklina przez umieszczenie w pobliżu jego zakończenia substancji radioaktywnej powodującej jonizację powietrza. Jonizacja gazu jest warunkiem koniecznym do powstania w nim wyładowania elektrycznego. Niestety, aby zwiększyć skuteczność piorunochronu potrzebne jest tak silne źródło promieniowania, że byłoby ono niebezpieczne dla ludzi i zwierząt. Produkowane zwody radioaktywne wyposażano w substancję o stosunkowo małej intensywności promieniowania rzędu 100 mC (mili-Curie), o wiele za małej, aby miało ja-

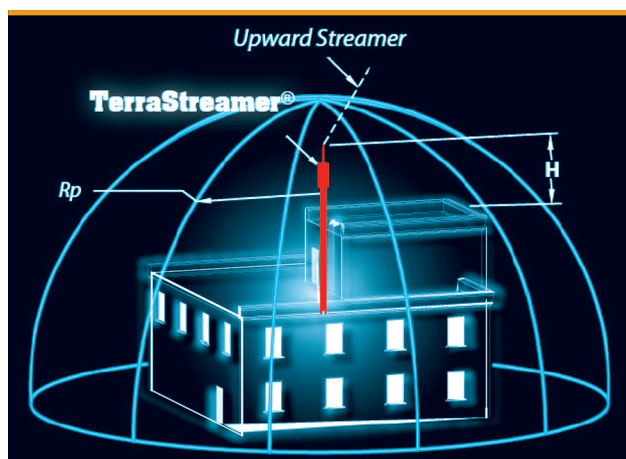
kolwiek wpływ na tak długą iskłę, jak lider schodkowy [5].

Duże nadzieje wiązano z potencjalną możliwością trygerowania pioruna przez różnego typu lasery. W warunkach laboratoryjnych można spowodować jonizację kilkunastometrowego kanału powietrza. Jednakże w warunkach napowietrznych deszcz lub śnieg powoduje rozpraszanie i znaczne osłabianie wiązki promieniowania laserowego [6]. Bardzo interesujący eksperyment przeprowadzony w Nowym Meksyku wykazał, że zwody Franklina o zakończeniu hemisferycznym o promieniu około 10 mm są lepsze od zwodów o zakończeniu ostrym. Kilkanaście wyładowań piorunowych trafiło tylko w zwody o zakończeniu tępych. Wynika to z faktu, że zwody zakończone tępo nie emitują wyładowań koronowych pod wpływem pola elektrycznego od chmury burzowej [7].

Piorunochrony z wczesną emisją strimera

Od 20 lat na rynku dostępne są głowice, zwane zwodami aktywnymi ESE, wyposażone w specjalne urządzenie rzekomo inicjujące wczesną emisję oddolnego wyładowania strimerowego (Early Streamer Emission). Reklamy tych urządzeń zapewniają, że ich strefa ochronna jest znacznie większa od strefy klasycznych zwodów Franklina. Zarówno zasada działania, jak i postulowane wielkości stref ochronnych zwodów aktywnych ESE nie zostały udowodnione i od początku wzbudziły liczne zastrzeżenia [8]. Mimo to głowice te zaczęły być produkowane i instalowane w wielu krajach. Badania różnych autorów sugerują, że koncepcja zwodów aktywnych jest błędna, ponieważ napięcie przebicia układów ze zwodami aktywnymi jest takie samo jak układów ze zwodami klasycznymi [9, 10].

Już sama nazwa tych urządzeń wskazuje, że autorzy tak naiwnej koncepcji słabo znają teorię wyładowań elektrycznych w powietrzu i mechanizm rozwoju pioruna. Strimer jest wyładowaniem, w którym początkowa gęstość elektronów osiąga wartość



Fantastyczna, niepotwierdzona strefa zwodu ESE TerraStreamer, <http://www.allteccorp.com>



Dom państwa Wieczorkowskich w Kamieńcu Wrocławskim [9]

► $10^{14}/\text{cm}^3$, jednak jego prąd jest mniejszy od 10 mA. Niestety, ponieważ powietrze w kanale strimera jest dosyć chłodne, gęstość elektronów szybko się zmniejsza i pojedynczy strimer nie jest w stanie sam się podgrzać, aby przekształcić się w gorący lider. Wyładowanie strimerowe w powietrzu, rozwijające się z elektrody o bieguności dodatniej, ma długość do 1 m, a napięcie konieczne do jego rozwoju wynosi około 400-500 kV. Tak więc zwód ESE emitujący strimer o długości nawet 1 m być może ma strefę ochrony tylko nieznacznie większą od zwodu Franklina o tej samej wysokości. Znacznie prostszym i tańszym sposobem jest zwiększenie wysokości zwodu Franklina o 1 m. Wydaje się jednak, że większość oferowanych na rynku zwodów ESE emituje tylko małe iskierki, a nie wyładowanie strimerowe o długości 1 m. Gdyby zwody ESE emitowały wyładowania liderowe (a nie strimerowe) o długości kilkunastu metrów nieco wcześniej, niż jest w stanie to uczynić zwód Franklina, wówczas ich strefa ochronna mogłaby być większa od zwodu klasycznego, mającego tę samą wysokość. Niestety, aby wygenerować wyładowanie liderowe o długości kilkunastu

metrów, konieczne jest źródło o napięciu około 2 MV. Taki monstrualny piorunochron jest teoretycznie możliwy, byłby jednak bardzo kosztowny.

Można zatem wnioskować, że wykorzystanie zwodów ESE zamiast zwodów klasycznych o jednakowej wysokości nie może prowadzić do zwiększenia strefy ochronnej. Potwierdzają to wyniki prób polowych zwodów ESE i zwodów klasycznych przeprowadzone przez specjalistów z Uniwersytetu stanu New Mexico [7]. Próby te nie wykazały żadnych zalet zwodów aktywnych. Wiele dowodów nieskuteczności zwodów aktywnych zdokumentowano w Malezji, zazwyczaj na obiektach o znacznej wysokości [5]. Zaobserwowano również tego typu zdarzenie na stacji biogazu w miejscowości Malsice w Czechach w czerwcu 2011 r. [11]. Głowica ak-

wadzona kampania reklamowa producentów powodują, że piorunochrony aktywne (a raczej pseudoaktywne) są instalowane w wielu krajach, w Polsce i również we Wrocławiu. Dwa piorunochrony zamontowano na kompleksie aquaparku i aż sześć sztuk na budynkach A-1, A-5, A-3 i B-2 Politechniki Wrocławskiej. ■

Literatura

- [1] Melville H., *The Lightning-Rod man*, Putman Magazine, 1854, <http://www.melville.org/lrman.htm>.
- [2] Uman M., *The art and science of lightning protection*, Cambridge University Press, 2008.
- [3] Berger K., Vogelsanger E., *Photographische Blitzuntersuchungen der Jahre 1955-1965 auf dem Monte San Salvatore*, Bulletin SEV, 57 (1966) 14, s. 599-620.



Zwody ESE na gmachu głównym A-1



tywna z wewnętrzną cewką, umieszczona na maszcie o wysokości 16 m, znajdowała się w odległości 13 m od zbiornika biogazu. Pomimo deklarowanego promienia ochrony zwodu ESE, wynoszącego rzekomo 65 m, piorun uderzył w środek pokrywy zbiornika na wysokości 9,5 m, odległego o 25 m od zwodu ESE. W wyniku uderzenia powstał pożar i eksplozja gazu, która spowodowała straty w wysokości 5 mln koron czeskich.

Piorunochrony pseudoaktywne we Wrocławiu

W roku 2000 zamontowano zwód aktywny w najwyższym punkcie A na domu państwa Wieczorkowskich w Kamieńcu Wrocławskim. Latem 2001 r. piorun uderzył nie w zwód, lecz w odległy o 18 m punkt B, pomimo zapewnienia producenta o 30-metrowym promieniu strefy ochronnej zwodu. Po reklamacji właściciela producent założył dodatkowy zwód w punkcie B. Jest to jedyny znany autorowi przypadek nieefektywności zwodu aktywnego w Polsce.

Niestety, brak rzetelnej informacji wśród społeczeństwa i umiędzielnienie pro-

- [4] Chrzan K.L., Krupa A., *Burze nad Wrocławiem*, Pryzmat, nr 252/2012, s. 11-14, <http://pryzmat.pwr.wroc.pl/>.

- [5] Chrzan K.L., Hartono Z., *Inefficacy of radioactive terminals and early streamer emission terminals*, International Symposium on High Voltage Engineering ISH, Delft 2003, paper 075.

- [6] Rakov V.A., Uman M.A., *Lightning Physics and Effects*, Cambridge University Press, 2005.

- [7] Rizk F.A.M., *Modeling of lightning exposure of sharp and blunt rods*, IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 25, no 4, 2010, s. 3122-3132.

- [8] Uman M.A., Rakov V.A., *A critical review of nonconventional approaches to lightning protection*, Bulletin of the American Meteorological Society, vol. 83, issue 12, Dec. 2002, s. 1809-1820.

- [9] Chrzan K.L., *Nieskuteczność pewnego zwodu aktywnego*, Wiadomości Elektrotechniczne, nr 1/2009.

- [10] Mikes J., Kvasnicka V., *Pasivita aktivních hromosvodů*, Raport Laboratorium Wysokich Napięć Politechniki w Pradze, 2003.

- [11] Kutac J., Martinek Z., Mikes J., Petrak M., *Mimoradna udalost v areálu bioplynové stanice v Malsicích*, Elektro, nr 11/2011, s. 23-26.

Krystian Chrzan,
adiunkt PWR,
Eduard Bazelyan,
profesor
w Instytucie
Energetycznym
im. Krzyżanskowo
ENIN w Moskwie
Zdjęcia:
www.sxc.hu,
Krystian Chrzan,
www.ochrona.net



Zwód ESE na budynku wrocławskiego aquaparku. W tle Sky Tower